

明細書

転がり軸受

5

技術分野

本発明は、減速機、ドライブピニオン、トランスミッションなどに用いられる転がり軸受に関し、より具体的には、転動疲労特性が長寿命で、かつ、高度の耐割れ強度や耐経年寸法変化を有する転がり軸受に関するものである。

10

背景技術

軸受部品の転動疲労に対して長寿命を与える熱処理方法として、焼入れ加熱時の雰囲気RXガス中に、さらにアンモニアガスを添加するなどして、その軸受部品の表層部に浸炭窒化処理を施す方法がある（たとえば特開平8-4774号公報、特開平11-101247号公報）。この浸炭窒化処理を用いることにより、表層部を硬化させ、さらに、ミクロ組織中に残留オーステナイトを生成させ、転動疲労寿命を向上させることができる。

20 浸炭窒化処理は拡散処理のため、長時間高温に保持する必要があるので、組織が粗大化する等して割れ強度の向上を図ることは困難であり、改善の余地がある。また、残留オーステナイトの増加による経年寸法変化率の増大についても改善の余地がある。

25 一方、転動疲労に対して長寿命を確保し、割れ強度を向上させ、経年寸法変化率の増大を防ぐには、鋼の合金設計によって行なうことが可能である。しかし、合金設計によると、原材料コストが高くなるなどの問題点が発生する。

30 今後の軸受部品には、使用環境の高荷重化、高温化に伴い、従来よりも、大きな荷重条件で、かつ、より高温で使用できる特性を備えることが要求される。こ

のため、転動疲労特性が長寿命で、高度の割れ強度と寸法安定性とを有する軸受部品が必要になる。

発明の開示

5

本発明は、高度の耐割れ強度と寸法安定性とを有し、高温環境下においても転動疲労寿命に優れた転がり軸受を提供することを目的とする。

本発明の転がり軸受は、内輪、外輪および複数の転動体を有する転がり軸受であって、内輪、外輪および転動体のうち少なくともいずれか一つの部材が、内輪、外輪および転動体を有する高温用転がり軸受の部品であって、合金元素の含有量が質量%で、C（炭素）を0.6%以上1.3%以下、Si（シリコン）を0.3%以上3.0%以下、Mn（マンガン）を0.2%以上1.5%以下、P（リン）を0.03%以下、S（硫黄）を0.03%以下、Cr（クロム）を0.3%以上5.0%以下、Ni（ニッケル）を0.1%以上3.0%以下、Al（アルミニウム）を0.050%以下、Ti（チタン）を0.003%以下、O（酸素）を0.0015%以下、N（窒素）を0.015%以下含み、残部がFe（鉄）および不可避不純物からなる鋼材よりなり、かつ、窒素富化層を有し、オーステナイト結晶粒の粒度番号が10番を超える範囲にあることを特徴とするものである。本発明者らは、鋭意検討した結果、異物混入環境下ならびに高温環境下において優れた転動疲労寿命を有する安価な高温用転がり軸受部品を得ることのできる組成元素の組合せおよびその各含有量を見出した。以下、各化学成分の限定理由について説明する。

10
15
20

25 (1) Cの含有量(0.6%以上1.3%以下)について

Cは転がり軸受として強度を確保するために必須の元素であり、所定の熱処理後の硬さを維持するためには0.6%以上含有する必要があるため、C含有量の下限を0.6%に限定した。また、本発明においては、後述するように炭化物が転動疲労寿命に重要な役割を与えるが、C含有量が1.3%を超えて含有された場合、大型の炭化物が生成し、転動疲労寿命の低下を生じることが判明したため、

30

C含有量の上限を1.3%に限定した。

(2) Siの含有量(0.3%以上3.0%以下)について

Siは高温域での軟化を抑制し、転がり軸受の耐熱性を改善する作用があるため添加することが望ましい。しかし、Si含有量が0.3%未満ではその効果が得られないため、Si含有量の下限を0.3%に限定した。また、Si含有量の増加に伴って耐熱性は向上するが、3.0%を超えて多量に含有させてもその効果が飽和するとともに、熱間加工性や被削性の低下が生じるため、Si含有量の上限を3.0%に限定した。

10

(3) Mnの含有量(0.2%以上1.5%以下)について

Mnは鋼を製造する際の脱酸に用いられる元素であるとともに、焼入れ性を改善する元素であり、この効果を得るために0.2%以上添加する必要があるため、Mn含有量の下限を0.2%に限定した。しかし、1.5%を超えて多量に含有すると被削性が大幅に低下するため、Mn含有量の上限を1.5%に限定した。

15

(4) Pの含有量(0.03%以下)について

Pは、鋼のオーステナイト粒界に偏析し、靱性や転動疲労寿命の低下を招くため、0.03%を含有量の上限とした。

20

(5) Sの含有量(0.03%以下)について

Sは鋼の熱間加工性を害し、鋼中で非金属介在物を形成して靱性や転動疲労寿命を低下させるため、0.03%をS含有量の上限とした。また、Sは前記のような有害な面を持つ反面、切削加工性を向上させる効果も有しているため、可及的に少なくすることが望ましいが0.005%までの含有であれば許容される。

25

(6) Crの含有量(0.3%以上5.0%以下)について

Crは本発明において重要な作用を果たす元素であり、焼入れ性の改善と炭化物による硬さ確保と寿命改善とのために添加される。所定の炭化物を得るためには0.3%以上の添加が必要であるため、Cr含有量の下限を0.3%に限定し

30

た。しかし、5.0%を超えて多量に含有すると、大型の炭化物が生成し転動疲労寿命の低下が生じるため、Cr含有量の上限を5.0%に限定した。

(7) Alの含有量(0.050%以下)について

- 5 Alは鋼の製造時の脱酸剤として使用されるが、硬質の酸化物系介在物を生成し転動疲労寿命を低下させるため低減することが望ましい。また、0.050%を超えてAlが多量に含有されると顕著な転動疲労寿命の低下が認められたため、Al含有量の上限を0.050%に限定した。
- 10 なお、Al含有量を0.005%未満とするためには鋼の製造コストの上昇が生じるため、Al含有量の下限を0.005%に限定することが望ましい。

(8) Tiの含有量(0.003%以下)、Oの含有量(0.0015%以下)、Nの含有量(0.015%以下)について

- 15 Ti、OおよびNは鋼中に酸化物、窒化物を形成し非金属介在物として疲労破壊の起点となり転動疲労寿命を低下させるため、Ti:0.003%、O:0.0015%、N:0.015%を各元素の上限とした。

(9) Niの含有量(0.1%以上3.0%以下)について

- 20 Niは本発明において重要な作用を果たす元素であり、特に高温環境下で使用された場合の転動疲労過程における組織の変化を抑制し、また高温域での硬さの低下を抑制して転動疲労寿命を向上する効果を有する。加えて、Niは韌性を改善して異物環境下での寿命を改善するとともに耐食性の改善にも効果がある。このため、Niを0.1%以上含有させる必要があるため、Ni含有量の下限を0.1%に限定した。しかし、3.0%を超えて多量にNiを含有すると、焼入れ処理時に多量の残留オーステナイトが生成され所定の硬さが得られなくなり、また鋼材コストが上昇するため、Ni含有量の上限を3.0%に限定した。

- 30 上記鋼材は、質量%で、0.05%以上0.25%未満のMoおよび0.05%以上1.0%以下のVの少なくとも一種をさらに含んでもよい。これによ

り、さらに異物混入環境下および高温環境下における転動疲労寿命を向上させることができ、かつ焼戻し処理後の硬度を向上させることができる。以下、上記化学成分の限定理由について説明する。

5 (10) Moの含有量(0.05%以上0.25%未満)について

Moは鋼の焼入れ性を改善するとともに、炭化物中に固溶することによって焼戻し処理時の軟化を防止する効果がある。特に、Moは高温域における転動疲労寿命を改善する作用が見出されたため添加されている。しかし、0.25%以上と多量にMoを含有させると鋼材コストが上昇するとともに、切削加工を容易にするための軟化処理時に硬さが低下せず被削性が大幅に劣化してしまうため、Mo含有量を0.25%未満に限定した。またMoの含有量が0.05%未満では炭化物形成に効果がないため、Mo含有量の下限を0.05%に限定した。

15 (11) Vの含有量(0.05%以上1.0%以下)について

Vは炭素と結合して微細な炭化物を析出し、結晶粒の微細化を促進し強度・靱性を改善する効果を有するとともに、Vの含有によって鋼材の耐熱性を改善し、高温焼戻し後の軟化を抑制し、転動疲労寿命を改善し、寿命のばらつきを減少させる作用を示す。この効果が得られるVの含有量が0.05%以上であるため、V含有量の下限を0.05%に限定した。しかし、1.0%を超えて多量にVを含有すると、被削性、熱間加工性が低下するため、V含有量の上限を1.0%に限定した。

次に、窒素富化層は、軌道輪(外輪もしくは内輪)または転動体の表層に形成された窒素含有量を増加した層であって、例えば浸炭窒化、窒化、浸窒などの処理によって形成させることができる。窒素富化層における窒素含有量は、好ましくは0.1%~0.7%の範囲である。窒素含有量が0.1%より少ないと効果がなく、特に異物混入条件での転動寿命が低下する。窒素含有量が0.7%より多いと、ポイドと呼ばれる空孔ができたり、残留オーステナイトが多くなりすぎて硬度が出なくなったりして短寿命になる。軌道輪に形成された窒素富化層について、窒素含有量は、研削後の軌道面の表層50 μ mにおける値であって、例

えばE PMA（波長分散型X線マイクロアナライザ）で測定することができる。

また、オーステナイト結晶粒の粒度番号が10番を超えるほどオーステナイト
粒径が微細であることにより、転動疲労寿命を大幅に改良することができる。オ
5 ーステナイト粒径の粒度番号が10番以下では、転動疲労寿命は大きく改善され
ない。10番を超える範囲とする。通常、11番以上とする。オーステナイト
粒径は細かいほど望ましいが、通常、13番を超える粒度番号を得ることは難
しい。なお、上記の軸受部品のオーステナイト粒は、浸炭窒化処理の影響を大き
く受けている表層部でも、それより内側の内部でも変化しない。したがって、上
10 記の結晶粒度番号の範囲の対象となる位置は、表層部および内
部とする。

本発明の転がり軸受は、窒素富化層を形成した上で、オーステナイト粒径を粒
度番号で11番以上に微細化したため、転動疲労寿命が大きく改善され、優れた
15 耐割れ強度や耐経年寸法変化を得ることができる。

図面の簡単な説明

図1は本発明の実施の形態における転がり軸受を示す概略断面図である。
20 図2は本発明の実施の形態における転がり軸受の熱処理方法を説明する図であ
る。

図3は本発明の実施の形態における転がり軸受の熱処理方法の変形例を説明す
る図である。

図4Aは本発明例の軸受部品のミクロ組織、とくにオーステナイト粒を示す図
25 である。

図4Bは従来の軸受部品のミクロ組織、とくにオーステナイト粒を示す図であ
る。

図5Aは図4Aを図解したオーステナイト粒界を示す。

図5Bは図4Bを図解したオーステナイト粒界を示す。

30 図6は静圧壊強度試験（破壊応力値の測定）の試験片を示す図である。

図 7 A は転動疲労寿命試験機の概略正面図である。

図 7 B は転動疲労寿命試験機の概略側面図である。

図 8 は静的破壊靱性試験の試験片を示す図である。

5 発明を実施する最良の形態

次に、図面を用いて本発明の実施の形態について説明する。図 1 は、本発明の実施の形態における転がり軸受を示す概略断面図である。図 1 において、この転がり軸受 10 は、外輪 1 と、内輪 2 と、転動体 3 とを主に有している。図面はラジアル玉軸受を表しているが、玉軸受、円すいころ軸受、円筒ころ軸受、針状ころ軸受も同様に本発明の実施の形態の対象になる。転動体 3 は、外輪 1 と内輪 2 との間に配置された保持器により転動可能に支持されている。これら転がり軸受の外輪 1、内輪 2 および転動体 3 の少なくとも 1 つの軸受部品は窒素富化層を有する。

15 窒素富化層を形成させるための処理の具体例として浸炭窒化処理を含む熱処理について説明する。図 2 は、本発明の実施の形態における転がり軸受の熱処理方法を説明する図であり、図 3 はその変形例を説明する図である。図 2 は一次焼入れおよび二次焼入れを行なう方法を示す熱処理パターンであり、図 3 は焼入れ途中で材料を A_1 変態点温度未満に冷却し、その後、再加熱して最終的に焼入れする方法を示す熱処理パターンである。これらの図において、処理 T_1 では鋼の素地に炭素や窒素を拡散させたまま炭素の溶解込みを十分に行なった後、 A_1 変態点未満に冷却する。次に、図中の処理 T_2 において、 A_1 変態点温度以上かつ処理 T_1 よりも低温に再加熱し、そこから油焼入れを施す。

25 上記の熱処理では、従来の浸炭窒化焼入れすなわち浸炭窒化処理に引き続いてそのまま 1 回焼入れするよりも、表層部分を浸炭窒化しつつ、割れ強度を向上させ、経年寸法変化率を減少させることができる。上記本発明の転がり軸受における図 2 または図 3 の熱処理方法によれば、オーステナイト結晶粒の粒径が従来の 2 分の 1 以下となるミクロ組織を得ることができる。上記の熱処理を受けた軸受

部品は、転動疲労に対して長寿命であり、割れ強度を向上させ、経年寸法変化率も減少させることができる。なお、用途によっては350℃までの高温の焼戻しを行なってもよい。

- 5 図4は、軸受部品のミクロ組織、とくにオーステナイト粒を示す図である。図4Aは本発明例の軸受部品であり、図4Bは従来の軸受部品である。すなわち、上記図2に示す熱処理パターンを適用した軸受鋼のオーステナイト結晶粒度を図4Aに示す。また、比較のため、従来の熱処理方法による軸受鋼のオーステナイト結晶粒度を図4Bに示す。また、図5Aおよび図5Bに、上記図4Aおよび図
- 10 4Bを図解したオーステナイト結晶粒度を示す。これらオーステナイト結晶粒度を示す組織より、従来のオーステナイト粒径はJIS規格の粒度番号で10番であり、本発明による熱処理方法によれば12番の細粒を得ることができる。また、図4Aの平均粒径は、切片法で測定した結果、5.6μmであった。
- 15 次に、本発明の実施例について説明する。

(実施例I)

- 1.2重量% C - 1.0重量% Si - 0.5重量% Mn - 1.0重量% Ni - 1.5重量% Cr 鋼を用いて、(1)水素量の測定、(2)結晶粒度の測定、(
- 20 3)シャルピー衝撃試験、(4)破壊応力値の測定、(5)転動疲労試験の各試験を行なった。表1にその結果を示す。

【表1】

試料	A	B	C	D	E	F	従来浸炭 窒化処理	普通焼入 れ
二次焼入れ 温度 (°C)	780	800	815	830	850	870	-	-
水素量 (ppm)	-	0.43	0.45	0.42	0.39	0.44	0.83	0.40
結晶粒度 (JIS)	-	12	11	11	10	9	9	9
シャルピー 衝撃値(J/cm ²)	-	6.80	6.55	6.35	6.20	6.15	5.10	6.40
破壊応力値 (MPa)	-	2800	2750	2630	2630	2600	2080	2750
転動疲労寿命 比 (L ₁₀)	-	2.3	2.5	2.4	1.6	1.5	1.4	1

各試料の製造履歴は次のとおりである。

- 5 試料A～D（本発明例）：浸炭窒化処理850℃、保持時間150分間。雰囲気は、RXガスとアンモニアガスとの混合ガスとした。図2に示す熱処理パターンにおいて、浸炭窒化処理温度850℃から一次焼入れをおこない、次いで浸炭窒化処理温度より低い温度域780℃～830℃に加熱して二次焼入れを行なった。ただし、二次焼入れ温度780℃の試料Aは焼入れ硬度不足のため試験の対象から外した。
- 10

試料E、F（比較例）：浸炭窒化処理は、本発明例A～Dと同じ履歴で行ない、二次焼入れ温度を浸炭窒化処理温度850℃以上の850℃～870℃で行なった。

15

従来浸炭窒化処理品（比較例）：浸炭窒化処理850℃、保持時間150分間。雰囲気は、RXガスとアンモニアガスとの混合ガスとした。浸炭窒化処理温度からそのまま焼入れを行ない、二次焼入れは行なわなかった。

普通焼入れ品（比較例）：浸炭窒化処理を行わずに、850℃に加熱して焼入れした。二次焼入れは行なわなかった。

- 5 これらはいずれも180℃、保持時間120分間の焼戻しを行なった。

次に、試験方法について説明する。

（1）水素量の測定

- 10 水素量は、LECO社製DH-103型水素分析装置により、鋼中の非拡散性水素量を分析した。拡散性水素量は測定してない。このLECO社製DH-103型水素分析装置の仕様を下記に示す。

分析範囲：0.01～50.00 ppm

- 15 分析精度：±0.1 ppmまたは±3% H（いずれか大なるほう）

分析感度：0.01 ppm

検出方式：熱伝導度法

試料重量サイズ：10 mg～35 mg（最大：直径12 mm×長さ100 mm）

- 20 加熱炉温度範囲：50℃～1100℃

試薬：アンハイドロン $Mg(ClO_4)_2$ 、アスカライト NaOH

キャリアガス：窒素ガス、ガスドージングガス：水素ガス、いずれのガスも純度99.99%以上、圧力40 psi (2.8 kgf/cm²)である。

- 25 測定手順の概要は以下のとおりである。専用のサンプラーで採取した試料をサンプラーごと上記の水素分析装置に挿入する。内部の拡散性水素は窒素キャリアガスによって熱伝導度検出器に導かれる。この拡散性水素は本実施例では測定しない。次に、サンプラーから試料を取り出し、抵抗加熱炉内で加熱し、非拡散性水素を窒素キャリアガスによって熱伝導度検出器に導く。熱伝導度検出器において熱伝導度を測定することによって非拡散性水素量を知ることができる。
- 30

(2) 結晶粒度の測定

結晶粒度の測定は、JIS G 0551の鋼のオーステナイト結晶粒度試験方法に基づいて行なった。

5 (3) シャルピー衝撃試験

シャルピー衝撃試験は、JIS Z 2242の金属材料のシャルピー衝撃試験方法に基づいて行なった。試験片は、JIS Z 2202に示されたUノッチ試験片(JIS 3号試験片)を用いた。

10 (4) 破壊応力値の測定

図6は、静圧壊強度試験(破壊応力値の測定)の試験片を示す図である。図中のP方向に荷重を負荷して破壊されるまでの荷重を測定する。その後、得られた破壊荷重を、下記に示す曲がり梁の応力計算式により応力値に換算する。なお、試験片は図6に示す試験片に限られず、他の形状の試験片を用いてもよい。

15

図6の試験片の凸表面における繊維応力を σ_1 、凹表面における繊維応力を σ_2 とすると、 σ_1 および σ_2 は下記の式によって求められる(機械工学便覧A4編材料力学A4-40)。ここで、Nは円環状試験片の軸を含む断面の軸力、Aは横断面積、 e_1 は外半径、 e_2 は内半径を表す。また、 κ は曲がり梁の断面係数である。

$$20 \quad \sigma_1 = (N/A) + \{M / (A \rho_0)\} [1 + e_1 / \{\kappa (\rho_0 + e_1)\}]$$

$$\sigma_2 = (N/A) + \{M / (A \rho_0)\} [1 - e_2 / \{\kappa (\rho_0 - e_2)\}]$$

$$\kappa = - (1/A) \int A \{ \eta / (\rho_0 + \eta) \} dA$$

(5) 転動疲労寿命

25 転動疲労寿命試験の試験条件を表2に示す。また、図7は、転動疲労寿命試験機の概略図である。図7Aは正面図であり、図7Bは側面図である。図7Aおよび図7Bにおいて、転動疲労寿命試験片21は、駆動ロール11によって駆動され、ボール13と接触して回転している。ボール13は、3/4インチのボールであり、案内ロール12にガイドされて、転動疲労寿命試験片21との間で高い
30 面圧を及ぼし合いながら転動する。

表 1 に示した実施例 1 の試験結果を説明すると次のとおりである。

(1) 水素量

浸炭窒化処理したままの従来浸炭窒化処理品は、0.83 ppm と非常に高い
5 値となっている。これは、浸炭窒化処理の雰囲気に含まれるアンモニア (NH_3)
が分解して水素が鋼中に浸入したためと考えられる。これに対し、試料 B~D は、
水素量は 0.42~0.45 ppm と半分近くまで減少している。この水素量は
普通焼入れ品と同レベルである。

10 上記の水素量の低減により、水素の固溶に起因する鋼の脆化を軽減することが
できる。すなわち、水素量の低減により、本発明例の試料 B~D のシャルピー衝
撃値は大きく改善されている。

(2) 結晶粒度

15 結晶粒度は二次焼入れ温度が、浸炭窒化処理時の焼入れ（一次焼入れ）の温度
より低い場合、すなわち試料 B~D の場合、オーステナイト粒は、結晶粒度番号
11~12 と顕著に微細化されている。試料 E および F ならびに従来浸炭窒化処
理品および普通焼入れ品のオーステナイト粒は、結晶粒度番号 9 であり、本発明
例の試料 B~D より粗大な結晶粒となっている。

20

(3) シャルピー衝撃試験

表 1 によれば、従来浸炭窒化処理品のシャルピー衝撃値は 5.10 J/cm² で
あるのに比して、本発明例の試料 B~D のシャルピー衝撃値は 6.35~6.8
0 J/cm² と高い値が得られている。この中でも、二次焼入れ温度が低い方がシ
25 ャルピー衝撃値が高くなる傾向を示す。普通焼入れ品のシャルピー衝撃値は 6.
40 J/cm² と高い。

(4) 破壊応力値の測定

上記破壊応力値は、耐割れ強度に相当する。表 1 によれば、従来浸炭窒化処理
30 品は 2080 MPa の破壊応力値となっている。これに比して、試料 B~D の破

壊応力値は2630～2800MPaと改善された値が得られている。普通焼入れ品の破壊応力値は2750MPaであり、試料B～Dの改良された耐割れ強度は、オーステナイト結晶粒の微細化と並んで、水素含有率の低減による効果が大
きいと推定される。

5

(5) 転動疲労試験

表1によれば、普通焼入れ品は浸炭窒化層を表層部に有しないことを反映して、
転動疲労寿命 L_{10} は最も低い。これに比して従来浸炭窒化処理品の転動疲労寿命は
1.4倍となる。試料B～Dの転動疲労寿命は従来浸炭窒化処理品より大幅に向
10 上する。試料E、Fは、従来浸炭窒化処理品とほぼ同等である。

上記をまとめると、本発明例の試料B～Dは、水素含有率が低下し、オーステナ
イト結晶粒度が11番以上に微細化され、シャルピー衝撃値、耐割れ強度および
転動疲労寿命も改善される。

15 (実施例II)

次に実施例IIについて説明する。下記のX材、Y材およびZ材について、一連
の試験を行なった。熱処理用素材には、1.2重量% C—1.0重量% Si—0.
5重量% Mn—1.0重量% Ni—1.5重量% Cr)を用い、X材～Z材に
共通とした。X材～Z材の製造履歴は次のとおりである。

20 X材(比較例)：普通焼入れのみ(浸炭窒化処理せず)。

Y材(比較例)：浸炭窒化処理後にそのまま焼入れ(従来の浸炭窒化焼入れ)。
浸炭窒化処理温度845℃、保持時間150分間。浸炭窒化処理の雰囲気は、R
Xガス+アンモニアガスとした。

25 Z材(本発明例)：図2の熱処理パターンを施した軸受鋼。浸炭窒化処理温度8
45℃、保持時間150分間。浸炭窒化処理の雰囲気は、RXガス+アンモニア
ガスとした。最終焼入れ温度は800℃とした。

(1) 転動疲労寿命

転動疲労寿命の試験条件および試験装置は、上述したように、表2および図7
30 に示すとおりである。この転動疲労寿命試験結果を表3に示す。

【表 2】

試験片	φ12×L22円筒試験片
試験数	10
相手鋼球	3/4インチ(19.05mm)
接触面圧	5.88GPa
負荷速度	46240cpm
潤滑油	タービンVG68 強制循環給油

【表 3】

材質	寿命(負荷回数)		L ₁₀ の比
	L ₁₀ (×10 ⁴ 回)	L ₅₀ (×10 ⁴ 回)	
X材	39800	69500	1.0
Y材	59400	73200	1.5
Z材	88900	103500	2.2

- 5 表3によれば、比較例のY材は、同じく比較例で普通焼入れのみを施したX材のL₁₀寿命(試験片10個中1個が破損する寿命)の1.5倍を示し、浸炭窒化処理による長寿命化の効果が認められる。これに対して、本発明例のZ材は、Y材の1.5倍、またX材の2.2倍の長寿命を示している。この改良の主因はミクロ組織の微細化によるものと考えられる。

10

(2) シャルピー衝撃試験

シャルピー衝撃試験は、Uノッチ試験片を用いて、上述のJIS Z 2242に準

じた方法により行なった。試験結果を表4に示す。

【表4】

材質	シャルピー衝撃値 (J/cm ²)	衝撃値の比
X材	6.4	1.0
Y材	5.2	0.8
Z材	6.8	1.1

- 5 浸炭窒化処理を行なったY材（比較例）のシャルピー衝撃値は、普通焼入れのX材（比較例）より高くないが、Z材はX材と同等以上の値が得られた。

（3）静的破壊靱性値の試験

- 図8は、静的破壊靱性試験の試験片を示す図である。この試験片のノッチ部に、
10 予き裂を約1mm導入した後、3点曲げによる静的荷重を加え、破壊荷重Pを求めた。破壊靱性値（ K_{Ic} 値）の算出には次に示す（1）式を用いた。また、試験結果を表5に示す。

$$K_{Ic} = (PL\sqrt{a/BW^2}) \{5.8 - 9.2(a/W) + 43.6(a/W)^2 - 75.3(a/W)^3 + 77.5(a/W)^4\} \dots (1)$$

15

【表5】

材質	試験数	K_{IC} (MPa \sqrt{m})	K_{IC} の比
X材	3	17.2	1.0
Y材	3	17.0	1.0
Z材	3	19.5	1.1

予き裂深さが浸炭窒化層深さよりも大きくなったため、比較例のX材とY材とは違いはない。しかし、本発明例のZ材は比較例に対して約1.1倍の値を得ることができた。

5

(4) 静圧壊強度試験

静圧壊強度試験片は、上述のように図6に示す形状のものを用いた。図中、P方向に荷重を付加して、静圧壊強度試験を行なった。試験結果を表6に示す。

10 【表6】

材質	試験数	静圧壊強度 (kgf)	静圧壊強度の比
X材	3	4000	1.00
Y材	3	3250	0.81
Z材	3	4250	1.06

浸炭窒化処理を行なっているY材は普通焼入れのX材よりも低い値である。しかしながら、本発明例のZ材は、Y材よりも静圧壊強度が向上し、X材と遜色ないレベルが得られている。

15

(5) 経年寸法変化率

保持温度130℃、保持時間500時間における経年寸法変化率の測定結果を、

表面硬度、残留オーステナイト量（50 μm 深さ）と併せて表7に示す。

【表7】

材質	試験数	表面硬度 (HRC)	残留 γ 量 (%)	寸法変化率 ($\times 10^{-5}$)	寸法変化率 の比
X材	3	63.0	11	23	1.0
Y材	3	64.0	27	41	1.8
Z材	3	62.1	15	28	1.2

- 5 残留オーステナイト量の多いY材の寸法変化率に比べて、本発明例のZ材は70%以下に抑制されていることがわかる。

（6）異物混入下における転動寿命試験

- 玉軸受6206を用い、標準異物を所定量混入させた異物混入下での転動疲労
10 寿命を評価した。試験条件を表8に、試験結果を表9に示す。

【表8】

荷重	$F_r = 6.86 \text{ kN}$
接触面圧	$P_{\text{max}} = 3.2 \text{ GPa}$
回転速度	2000 rpm
潤滑	タービン56 油浴給油
異物量	0.4 g / 1000 cc
異物	粒径100~180 μm 、硬さHv800

【表9】

材質	L ₁₀ 寿命 (h)	L ₁₀ の比
X材	23.5	1.0
Y材	40.8	1.7
Z材	37.7	1.6

X材に比べ、従来の浸炭窒化処理を施したY材は約1.7倍になり、また、本発明例のZ材は約1.6倍の長寿命が得られた。本発明例のZ材は、比較例のY材に比べて残留オーステナイトが少ないものの、窒素の浸入と微細化されたミクロ組織の影響でほぼ同等の長寿命が得られている。

上記の結果より、Z材、すなわち本発明例は、従来の浸炭窒化処理では困難であった転動疲労寿命の長寿命化、割れ強度の向上、経年寸法変化率の低減の3項目を同時に満足することができることがわかった。

(実施例III)

表10に、窒素含有量と異物混入条件下の転動寿命との関係について行なった試験の結果を示す。なお、比較例1は標準焼入れ品、比較例2は標準の浸炭窒化品である。比較例3は本発明実施例と同様の処理を施したものの窒素量のみ過多の場合である。試験条件は次のとおりである。

供試軸受：円すいころ軸受30206（内・外輪、ころ共に、1.2重量% C－1.0重量% Si－0.5重量% Mn－1.0重量% Ni－1.5重量% Cr 鋼製）

ラジアル荷重：17.64 kN

アキシアル荷重：1.47 kN

回転速度：2000 rpm

硬質の異物混入 1 g/L

【表10】

No.	窒素含有量 (%)	残留オーステナイト (%)	硬 度 (Hv)	異物混入下の 転動寿命(h)	備 考
1	0.11	14	730	370	実施例1
2	0.16	19	735	400	実施例2
3	0.18	21	730	390	実施例3
4	0.32	22	730	410	実施例4
5	0.61	28	705	440	実施例5
6	0	9	750	60	比較例1
7	0.32	27	700	121	比較例2
8	0.72	35	680	98	比較例3

表10より、実施例1～5に関しては、窒素含有量と異物混入下における転動寿命はほぼ比例関係にあることがわかる。ただし、窒素含有量が0.72の比較例3では異物混入下における転動寿命が極端に低下していることに照らし、窒素含有量は0.7を上限とするのがよい。

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

請求の範囲

1. 外輪、内輪および複数の転動体を有する転がり軸受において、前記外輪、
内輪および転動体のうち少なくともいずれか一つの部材が、合金元素の含有量が
5 質量%で、Cを0.6%以上1.3%以下、Siを0.3%以上3.0%以下、
Mnを0.2%以上1.5%以下、Pを0.03%以下、Sを0.03%以下、
Crを0.3%以上5.0%以下、Niを0.1%以上3.0%以下、Alを0.
050%以下、Tiを0.003%以下、Oを0.0015%以下、Nを0.0
15%以下含み、残部がFeおよび不可避不純物からなる鋼材よりなり、かつ、
10 窒素富化層を有し、オーステナイト結晶粒の粒度番号が10番を超える範囲にあ
る、転がり軸受。
2. 前記鋼材は、質量%で、0.05%以上0.25%未満のMoおよび0.
05%以上1.0%以下のVの少なくとも一種をさらに含んでいることを特徴と
15 する、請求項1の転がり軸受。
3. 窒素富化層における窒素含有量が0.1%~0.7%の範囲である請求項
1の転がり軸受。
- 20 4. 前記部材が軌道輪であって、前記窒素含有量が、研削後の軌道面の表層5
0 μ mにおける値である請求項3の転がり軸受。

FIG. 1

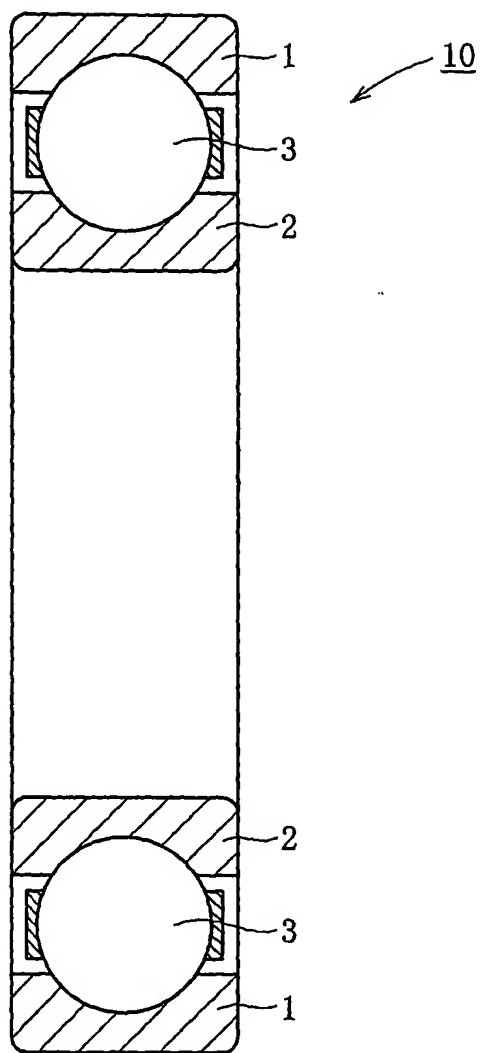


FIG. 2

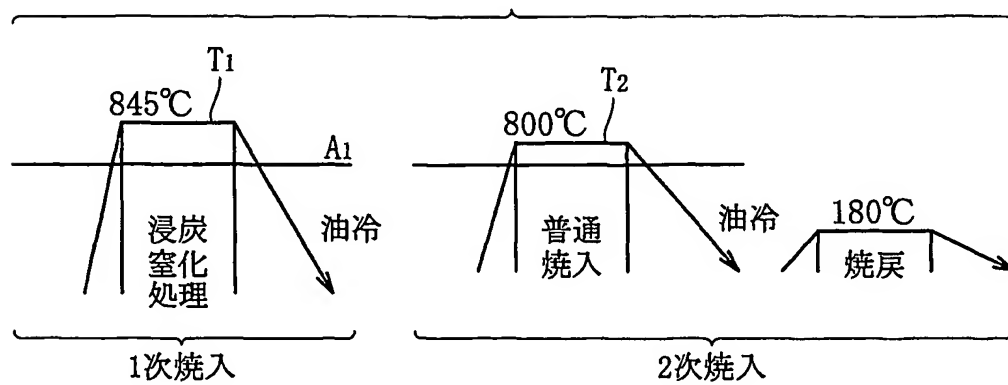


FIG. 3

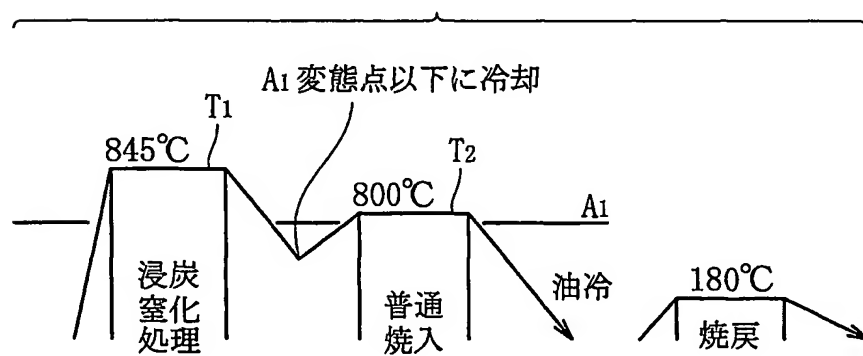


FIG. 4A

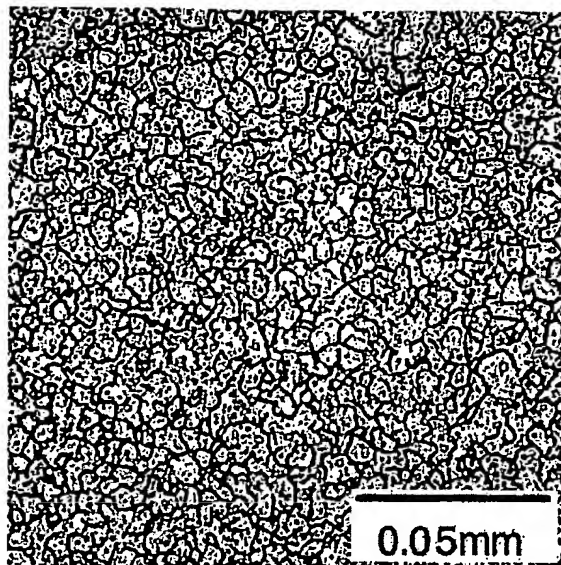


FIG. 4B

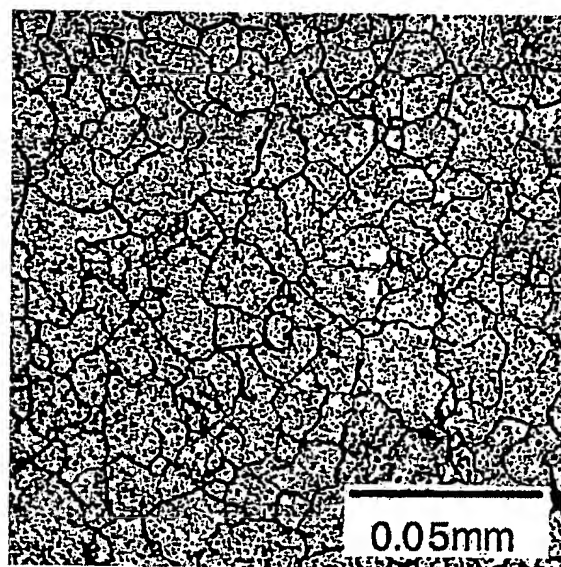


FIG. 5A

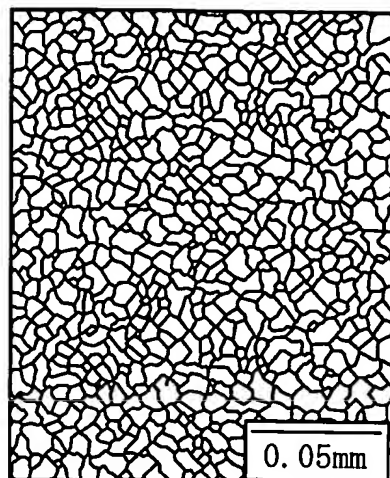


FIG. 5B

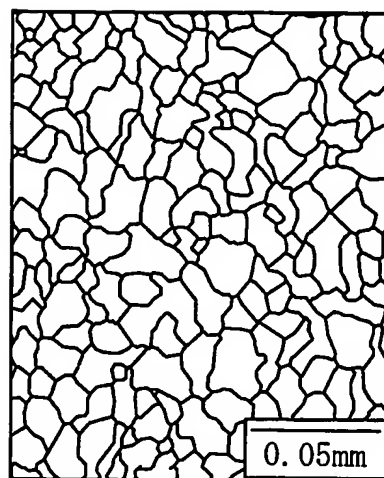


FIG. 6

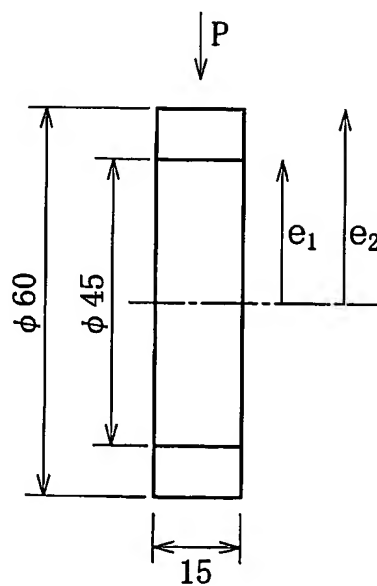


FIG. 7A

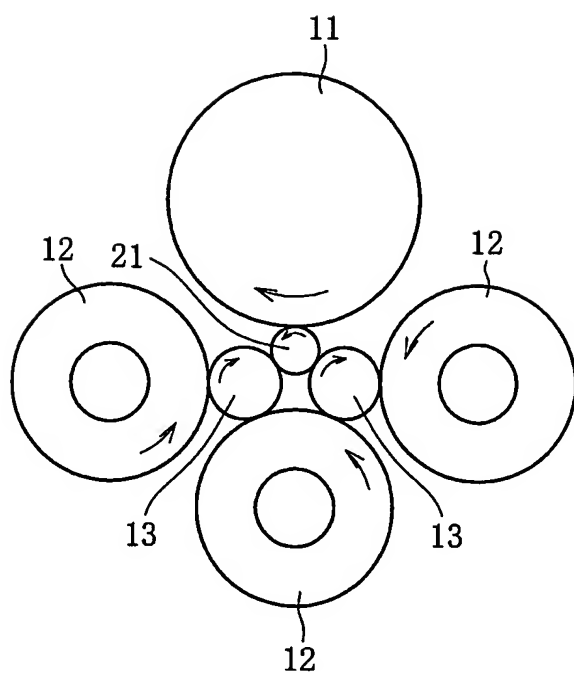


FIG. 7B

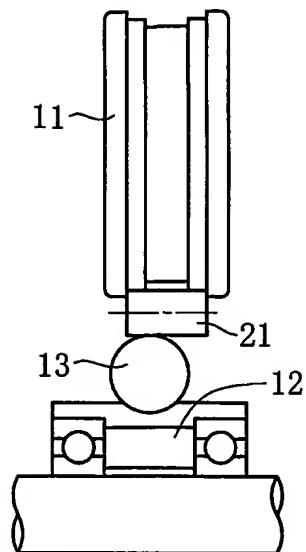
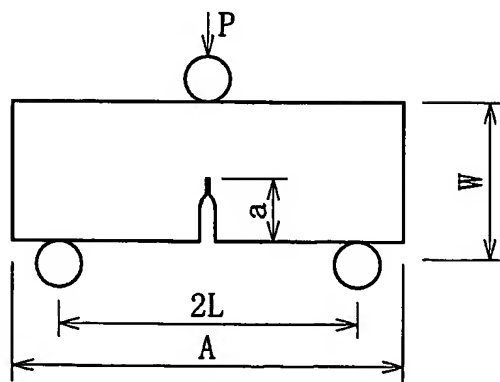


FIG. 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/014787

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁷ C22C38/00, C22C38/50, C21D9/40		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl ⁷ C22C38/00, C22C38/50, C21D9/40		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) WPI		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-226919 A (NTN Corp.), 15 August, 2003 (15.08.03), Full text & US 2003/123769 A1 & DE 10254635 A1 & FR 2841907 A1	1-4
Y	JP 2003-113448 A (Nippon Koshuha Kogyo Kabushiki Kaisha), 18 April, 2003 (18.04.03), Par. No. [0046] (Family: none)	1-4
Y	JP 2002-115031 A (NTN Corp.), 19 April, 2002 (19.04.02), Par. No. [0047] (Family: none)	1-4
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 27 January, 2005 (27.01.05)		Date of mailing of the international search report 15 February, 2005 (15.02.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/014787

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-152252 A (NSK Ltd.), 05 June, 2001 (05.06.01), Par. No. [0023] (Family: none)	1-4

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2004/014787

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. C22C38/00, C22C38/50, C21D9/40

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. C22C38/00, C22C38/50, C21D9/40

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2005年
 日本国登録実用新案公報 1994-2005年
 日本国実用新案登録公報 1996-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2003-226919 A (NTN株式会社) 2003. 08. 15, 全文 & US 2003/123769 A1 & DE 10254635 A1 & FR 2841907 A1	1-4
Y	JP 2003-113448 A (日本高周波鋼業株式会社) 2003. 04. 18, 【0046】 (ファミリーなし)	1-4

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27. 01. 2005

国際調査報告の発送日

15. 2. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

鈴木 正紀

4 K

3 2 3 7

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 2002-115031 A (エヌティエヌ株式会社) 2002. 04. 19, 【0047】 (ファミリーなし)	1-4
Y	J P 2001-152252 A (日本精工株式会社) 2001. 06. 05, 【0023】 (ファミリーなし)	1-4